



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑯ EP 0490 486 B1

⑯ DE 691 16 532 T 2

⑯ Int. Cl. 8:
G 01 L 9/12
G 01 L 9/06

(1)

DE 691 16 532 T 2

⑯ Deutsches Aktenzeichen: 691 16 532.7
 ⑯ Europäisches Aktenzeichen: 91 310 404.8
 ⑯ Europäischer Anmeldetag: 11. 11. 91
 ⑯ Erstveröffentlichung durch das EPA: 17. 6. 92
 ⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 17. 1. 96
 ⑯ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 2. 10. 96

⑯ Unionspriorität: ⑯ ⑯ ⑯

07.12.90 US 626581

⑯ Patentinhaber:

Wisconsin Alumni Research Foundation, Madison,
Wis., US

⑯ Vertreter:

LOUIS, PÖHLAU, LOHRENTZ & SEGETH, 90489
Nürnberg

⑯ Benannte Vertragstaaten:

AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LI, LU, NL,
SE

⑯ Erfinder:

Guckel, Henry, Madison, Wisconsin 53705, US;
Christenson, Todd R., Madison, Wisconsin 53715, US

⑯ Mikrominiatur-Differenzdruckwandler und Herstellungsverfahren dazu

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 691 16 532 T 2

Gebiet der Erfindung

Diese Erfindung betrifft allgemein das Gebiet von Halbleitern und mikromechanischen Vorrichtungen und Herstellungsverfahren dafür, und insbesondere Mikrominiaturdifferentialdruckwandler.

Hintergrund der Erfindung

Sensoren sind Vorrichtungen, die typischerweise physikalische Variablen umwandeln, die als elektronische Signale gemessen werden, welche Teil eines Steuerungssystems werden. Sie bestehen aus zwei Teilen: Der Sensorstruktur und der Umhüllung, die die Vorrichtung vor häufig feindlichen Umgebungen schützt. Größenverminderungen in der Sensorstruktur sind fast immer nützlich. Sie ermöglichen Kostenverminderungen über Massenfabrikationstechniken, die aus der Mikroelektronik entliehen sind, und werden nun bei ausreichend kleinen Größen durchgeführt, so daß die Herstellung derartiger Vorrichtungen passenderweise durch den Ausdruck Mikromechanik beschrieben werden kann. Mikromechanische Sensoren oder Mikrosensoren können manchmal mit cofabrizierter Mikroelektronik kombiniert werden, um Leistungsverbesserungen zu ergeben, und können in Strukturen resultieren, die sich als smarte Sensoren ausweisen. Die Mikrominiaturisierung kann die Sensoranwendungsgebiete ausdehnen. Dies wird durch physikalische Sensoren für biologische Systeme

veranschaulicht. Blutdruck- und Blutgasanalysevorrichtungen müssen klein sein, damit sie effektiv sind.

Die Fabrikationstechniken, die zunächst für die Mikrosensorherstellung zur Verfügung stehen, besitzen ihren Ursprung in der Mikroelektronik. Die zentrale Schwierigkeit, die man mit derartigen Techniken erfährt, basiert auf der Tatsache, daß Sensoren grundsätzlich dreidimensionale Strukturen sind, wobei die Konstruktion integrierter Schaltungen auf planarer Verarbeitung basiert, die natürlich zweidimensional ist. Derzeit sind fast alle Konstruktionsverfahren für Mikrosensoren Anpassungen von Planaren Verfahren für integrierte Schaltkreise mit vorsichtigen dreidimensionalen Erweiterungen.

Dementsprechend sind, bei Wafer an Wafer gebundenen Sensoren, IC-Verarbeitung mit Silicium-Massenverarbeitung und Wafer an Wafer Binden zum erzielen einer Mikrosensorproduktion kombiniert. Zum Beispiel offenbart die EP-A-0339981, auf der der Oberbegriff der beigefügten Ansprüche 1 und 13 basiert, einen laminierten Halbleiterdrucksensor mit drei laminierten Halbleiterwafers mit Kammern auf jeder Seite des mittleren Wafers, um dessen Auslenkung zu ermöglichen. Die Kammern sind hinreichend flach, um den äußerern Wafers zu ermöglichen eine übermäßige Auslenkung des mittleren Wafers zu verhindern, wenn er hohen Drücken ausgesetzt wird.

Bei der mikronaschinellen Verarbeitung der Oberfläche sind planare Verarbeitung und seitliches Ätzen zum erzielen der erforderlichen Dreidimensionalität kombiniert. Dreidimensionale

Fabrikations- und Nicht-Silicium-Technologien werden jedoch wichtiger für die Mikrosensorentwicklung.

Druckwandler sind die am meisten verwendeten und daher am besten verstandenen Sensoren. Sie fallen in zwei Klassen: relative oder Differentialvorrichtungen und Absolutwandler. Die Absolutwandler sind intensiver für die Mikrominiaturisierung über mikromaschinelle Oberflächenbehandlung untersucht worden. Siehe zum Beispiel U.S.-Patente 4,744,863 und 4,853,669 für Guckel et al., für eine Diskussion derartiger Sensoren und Versiegelungstechniken zur Herstellung absoluter Sensoren.

Die Herstellung einer versiegelten Kammer oder eines "Pill-box"-Sensors erfordert eine Vakuumversiegelung und ein elektronisches Abfühlen der Vorrichtung. Das Pill-box-Verhalten und das elektronische Abfühlen tragen zusammen zur Leistungsfähigkeit der Vorrichtung bei. Dementsprechend sind sehr kleine Deformationen eines mechanisch steifen Diaphragmas oder einer Membran akzeptabel, wenn das Abfühlschema ausreichend empfindlich ist. Ein Überdruckstop, der entweder durch die Vorrichtung oder durch die Umhüllung bereitgestellt wird, ist notwendig, weil zunehmende Drücke zunehmende Auslenkungen hervorrufen und letztendlich zum Versagen der Pill-box führen.

Polykristallines Silicium (Polysilicium) kann als deformierbare Membran verwendet werden, wie in den vorstehenden Patenten und in dem U.S.-Patent 4,897,360 beschrieben ist, dessen Offenbarung durch Bezugnahme hier aufgenommen wird. Ein typischer Polysilicium-Diaphragmafilm ist in der Lage, eine maximale

Spannung von ungefähr 1,5 % zu ertragen bevor er bricht. Er hat auch ein eingebautes Spannungsfeld. Dieses Spannungslevel muß entweder steuerbar sein und wird daher Teil des Konstruktionsverfahrens, oder der Film muß die Eigenschaft haben, daß Verarbeitungstechniken bestehen, die ein Verschwinden der eingebauten Spannung bewirken. Für den Fall eines absoluten Druckwandlers, wie in den U.S.-Patenten 4,744,863 und 4,853,669 versanschaulicht, wird angenommen, daß der Wandler quadratisch ist und der Maximaldruckbereich durch eine Diaphragmaauslenkung im Zentrum des Diaphragmas definiert ist, die gleich der Kammertiefe unter dem Diaphragma ist. Die Auslenkung des Diaphragmas unter Druck induziert Diaphragma Spannungen. Das Spannungsfeld wird an der geklammerten Kante in der Mitte zwischen den Ecken maximal. Dieser Spannungswert kann die maximal für das Diaphragmamaterial erlaubte Spannung nicht überschreiten, wodurch der Druckbereich des Sensors dementsprechend definiert und begrenzt wird.

Ein Druckwandler benötigt einen Abfühlmechanismus. Piezoresistive und kapazitive Techniken bilden die direktesten Zugänge. Piezoresistives Abfühlen ist die am direktesten implementierte Technik und profitiert von der Erhältlichkeit von Polysilicium, das zur Herstellung von hervorragenden, stabilen und dielektrisch isolierten Abfühlstrukturen verwendet werden kann. Derartige Strukturen können durch Abdecken des Polysiliciumdiaphragmas mit einer Siliciumnitridschicht, einer mit Mustern und dotiertem Polysilicium versehenen Schicht und einer schützenden Nitridschicht gebildet werden. Das Thema wird dann eins der

Leistungsbewertung für bestimmte Widerstands-Dotierungs-Level und Widerstands-Plazierungen.

Polysiliciumwiderstände sind von diffundierten Siliciumwiderständen ziemlich verschieden. Der piezoresistive Effekt bei diesen Vorrichtungen ist grob um den Faktor fünf kleiner, als der eines gut entworfenen einkristallinen Gegenstücks. Dehnungsfaktoren in longitudinaler Richtung liegen typischerweise leicht über 20 und Dehnungsfaktoren in transversaler Richtung liegen nahe -8. Der Temperaturkoeffizient des Widerstands kann positiv oder negativ sein und nahe bei Null liegen. Der Rauschfaktor für diese Vorrichtungen schließt nur thermisches Rauschen ein, was normalerweise nur bei sehr guten Metallfilmwiderständen als zutreffend gefunden wird. Polysiliciumwiderstände sind dielektrisch isoliert, was Anwendungen bei höheren Temperaturen erlaubt, weil Grenzschicht-Verlustströme nicht vorhanden sind.

Das Thema der Plazierung dieser Vorrichtungen ist wiederum ziemlich unterschiedlich gegenüber der Plazierung von Einkristall-Widerständen. Die allgemeine Regel ist einfach die Widerstände in den maximalen Strebereichen auf dem Diaphragma anzubringen. Dies impliziert longitudinale Abschnitte, die in das Diaphragma an dem Träger in der Mitte zwischen den Ecken eintreten. Es besteht jedoch ein Problem. Die Diaphragmagrößen sind typischerweise kleiner als 100 Mikrometer auf einer Seite. Die Widerstände sind deshalb ziemlich klein, mit typischen Liniendurchmessern von 4 Mikrometern. Demgemäß müssen Ausrichtungstoleranzen als auch Liniendurchmesserverschiebungen

während des Polysiliciumätzens berücksichtigt werden. Ein vollständiger Wandler kann vier Vorrichtungen in einer Brückenkonfiguration verwenden, mit zwei druckempfindlichen Widerständen und zwei druckunempfindlichen Widerständen, weil ihr Pill-box-Oxid nicht entfernt worden ist. Mit dieser Konfiguration, der halbaktiven vollständigen Brücke, kann die maximale Ausgangsleistung in Millivolt pro Volt Brückenanregung beim Berührungsdruck berechnet werden.

Die Schwierigkeiten des piezoresistiven Abfühlens können durch verändern der Abfühltechnik oder durch Umwandlung der Vorrichtung von einem absoluten Drucksensor zu einem Differentialwandler ausgeräumt werden. Beiden Methoden wird genaue Aufmerksamkeit gewidmet. In dem ersten Fall kann der Piezowiderstand durch einen neuen Typ Kraftsensor ersetzt werden: Dem vakuumversiegelten Schwingbalken. Dieser ist im wesentlichen eine Pill-box, die einen doppelt geklammerten freistehenden Balken enthält, der elektrostatisch angeregt werden kann. Der Wandlermechanismus ist eine axial angelegte frequenzabhängige Kraft. Seine sehr hohe Empfindlichkeit erlaubt einfachere und genauere Messungen. Der Nachteil ist in der erhöhten Komplexität der notwendigen Konstruktionstechniken zu finden. Die Vorrichtung wird teuer und ist hauptsächlich verwendbar, wo Präzisionsmessungen niedriger Drücke benötigt werden.

Erfnungsgemäß wird ein Verfahren zur Herstellung einer mikromaschinellen Struktur bereitgestellt, die durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet ist:

- (a) Bildung einer Material-Opfer-Freisetzungsschicht auf der Oberfläche eines Substrats, wobei das Material der Opfer-Freisetzungsschicht in einer Flüssigkeit löslich ist, die das Substrat nicht beeinflußt;
- (b) Aufbringen einer Beschichtungsbasis wenigstens über der Opfer-Freisetzungsschicht, wobei die Beschichtungsbasis aus einem Metall gebildet wird;
- (c) Ausbilden einer Schicht aus Formgußmasse über der Beschichtungsbasis in wenigstens der gewünschten Dicke einer zu bildenden Struktur, wobei die abgeschiedene Formgußmasse für Röntgenstrahlen durchlässig ist, so daß die Röntgenstrahlen ausgesetzte Formgußmasse in einer ausgewählten Entwicklerlösung aufgelöst werden kann;
- (d) Aussetzen der Formgußmasse gegenüber Röntgenstrahlen in einem gewünschten Muster, einschließlich wenigstens einem Teil des Bereichs der Beschichtungsbasis;
- (e) Entfernen des Formgußmaterials mit der Entwicklerlösung in den Röntgenstrahlen ausgesetzten Bereichen, während das verbleibende Formgußmaterial zur Festlegung eines Formbereichs über der Beschichtungsbasis stehengelassen wird;
- (f) Abscheiden eines nassen Metalls in dem Formbereich über Beschichtungsbasis durch Elektroplattieren;
- (g) Entfernen des verbleibenden Formgußmaterials;

- (h) Entfernen der Beschichtungsbasis in Bereichen, in denen kein massives Metall abgeschieden wurde, um einen Zugang zur Opfer - Freisetzungsschicht zu ermöglichen;
- (i) Entfernen der Opfer-Freisetzungsschicht, um das abgeschiedene Metall auf der Beschichtungsbasis an den Stellen frei von dem Substrat zu lassen, wo die Opfer-Freisetzungsschicht entfernt wurde.

Erfnungsgemäß wird auch ein mikromaschineller Differentialdruckwandler bereitgestellt, enthaltend:

- (a) ein Substrat mit einer Oberseite und einer Unterseite;
- (b) eine deformierbare Membran, die auf der Oberseite des Substrats angebracht und an ihren Umfangsbereichen dicht mit der Oberseite des Substrats verbunden ist und zur Festlegung einer Aussparung in ihrem Innenbereich von dem Substrat beabstandet ist, wobei die Aussparung zwischen der Membran und dem Substrat hermetisch abgeschlossen ist, der Boden der Aussparung in dem Substrat zur Ermöglichung normaler Auslenkungen der Membran von derselben beabstandet ist, aber eine Überdruckbegrenzung für die Auslenkung der Membran in Richtung auf das Substrat darstellt, um eine Beschädigung der Membran zu vermeiden;
- (c) wenigstens einen, von einer entfernten Position in dem Substrat

zu der Aussparung führenden Kanal zur Bereitstellung einer Verbindung davon zur Aussparung;

(d) einer auf der Oberseite des Substrats angebrachten Überdruckbegrenzung mit einem Brückenzonenbereich, der die Membran überspannt und zur Ermöglichung normaler Auslenkungen der Membran davon beabstandet ist, während er eine Überdruckbegrenzung zur Vermeidung von Auslenkungen der Membran in Richtung von dem Substrat weg darstellt, die die Membran schädigen würde, wobei der Abstand zwischen der Überdruckbegrenzungsbrücke und der Membran und zwischen der Membran und dem Boden der Aussparung weniger als ungefähr 10 Mikrometer ist; und

(e) Einrichtungen zum Abfühlen der Auslenkungen der Membran; dadurch gekennzeichnet, daß die Überdruckbegrenzungsbrücke aus einem leitenden Material gebildet ist.

Dementsprechend können Mikrominiaturdruckwandler auf Halbleitersubstraten gebildet werden, zum Beispiel einkristallinen Siliciumsubstraten, um Messungen des Differentialdruckes über dem Substrat zu ermöglichen. Der Druckwandler schließt eine Membran ein, bevorzugt aus Polysilicium gebildet, die eine Aussparung über dem Substrat überspannt, wobei die Membran auf der Oberseite des Substrats angebracht und an ihrem Umfangsbereichen dicht mit der Oberseite des Substrats verbunden ist. Der Boden der Aussparung bildet eine Überdruckbegrenzung zur Vermeidung zu großer Auslenkungen der Membran in Richtung auf das Substrat. Kanäle erstrecken sich durch das Substrat von einem entfernten Ort, wie der Unterseite gegenüber dem Druckwandler, um mit der

Aussparung in Verbindung zu stehen. Dies ermöglicht der Membran eine Auslenkung weg von dem Substrat, wenn der Druck auf der Unterseite des Substrats den Druck auf der Oberseite des Substrats überschreitet. Eine als eine Brücke gebildete Überdruckbegrenzung erstreckt sich über die Membran und ist von dieser beabstandet, um der Membran Auslenkungen unter Normaldruckbedingungen zu ermöglichen, aber zur Vermeidung von zu großen Auslenkungen und nachfolgendem Versagen der Membran. Die Überdruckbegrenzung ist bevorzugt aus einem relativ starken strukturellen Material gebildet, zum Beispiel elektroplattiertem Nickel, so daß es in der Lage ist, den durch die ausgelenkte Membran in Kontakt mit der Überdruckbegrenzung ausgeübten Druck zu widerstehen.

Die Überdruckbegrenzungsbrücke wird unter Verwendung von Herstellungstechniken gebildet, die mit der Herstellung der Drucksensormembran vereinbar sind und diese oder ihre physikalischen Eigenschaften oder die Fähigkeit zur Bildung mikroelektronischer Vorrichtungen auf dem Substrat nicht beeinflußen. Die untere, zur Membran gerichtete Fläche der Brücke ist bevorzugt so gebildet, daß sie sehr glatt und einheitlich ist, so daß die Kontaktfläche der Brücke einheitlich von der Membran beabstandet ist. Die Glätte der unteren Fläche der Brücke vermeidet frühzeitigen Kontakt eines Bereichs der ausgelenkten Membran mit einem hohen Punkt auf der unteren Oberfläche der Brücke und möglicherweise lokalisierten Spannungen oder ein Bersten, daß auftreten kann, wenn eine scharfe Oberfläche der Brücke mit der Membran in Kontakt kommt. Der Abstand zwischen der Brücke und der Membran muß nichtsdestoweniger relativ klein sein,

typischerweise im Bereich von 10 Mikrometern oder weniger, und häufig in dem Bereich von 1 Mikrometer, und dieser einheitliche Abstand muß über den überspannten Bereich der Membran beibehalten werden, der sich von einigen wenigen Mikrometern bis mehreren hundert Mikrometern erstrecken kann. Der Spalt zwischen der Membran und der Überdruckbegrenzung ist gewählt, um eine freie Auslenkung der Membran unter normalen Druckbedingungen zu ermöglichen und den Kontakt der Membran mit der Begrenzung unter Überdruckbedingungen unterhalb eines Levels, bei dem die Membran bersten würde.

Der Differentialdruckwandler wird bevorzugt unter Verwendung von Polysiliciummembranen hergestellt, die gemäß eingeführter Verarbeitungsverfahren auf Siliciumsubstraten gebildet sind. Die Umfangsbereiche der Membran sind so auf dem Substrat angebracht und abgedichtet, daß die Umgebungsatmosphäre auf der Oberseite des Substrats nicht in die Aussparung unterhalb der Membran fließen kann. Die Aussparung selbst ist jedoch nicht vakuumversiegelt, sondern sie steht vielmehr durch Kanäle in dem Substrat mit der Atmosphäre an einer von der Aussparung und der Membran entfernten Position in Verbindung, wie einer Position an der Unterseite des Substrats. Diese Kanäle können zum Beispiel durch Ätzen durch das Substrat zu der Aussparung von der Unterseite her gebildet sein.

Der Spalt zwischen der Membran und der unteren Fläche der Brücke wird mit einer Opferschicht erzeugt, die aus einem Polyamidfilm bestehen kann, der in einem Lösungsmittel, wie einem Polymethylmetacrylat-Entwickler, löslich ist. Die Form der

Opferschicht wird durch standartmäßige Formungstechniken erreicht. Eine Plattierungsbasis wird dann auf die Opferschicht und die angrenzenden Bereiche des Substrats aufgebracht. Diese Plattierungsbasis kann eine nicht geformte Dünnschicht aus Titan auffweisen, die von einer Abscheidung einer Dünnschicht von Nickel gefolgt wird. Die gesamte obere Substratfläche kann dann durch eine dicke Schicht eines röntgenstrahlenbeständigen Formgußmaterial überdeckt werden, zum Beispiel durch vernetztes PMMA. Die Röntgenstrahlenmaske, die die Bereiche festlegt, die plattierte werden sollen, wird dann optisch ausgerichtet und in einer Röntgenstrahlen-Belichtungseinrichtung befestigt, mit von einer Entwicklung gefolgten Belichtung, wobei die Entwicklung das den Röntgenstrahlen ausgesetzte PMMA zur Festlegung eines Formbereiches bis auf die Plattierungsbasis entfernt. Das Brückenmaterial, zum Beispiel Nickel, wird dann in den Formbereich zu Dicken, die geringfügig kleiner sind als die PMMA-Dicke, abgeschieden (zum Beispiel durch Elektroplattieren). Das gesamte verbleibende PMMA wird dann entfernt, als nächstes die Plattierungsbasis und als letzter Schritt wird die Opferschicht entfernt.

Die Membran des Differentialdrucksensors kann darin gebildete piezoresistive Polysiliciumwiderstände zum Abfühlen der Auslenkung besitzen. Diese Widerstände sind bevorzugt mit Siliciumnitrid bedeckt, das als Isolator und Oberlächenpassivierungsgrenze wirkt. Wegen dieser Grenzschicht kann die Membran dann mit einer dünnen Schicht eines Metalls bedeckt werden, die verwendet werden kann um eine Platte eines Kondensators zu bilden, wobei die leitfähige

Überdruckbegrenzungsbrücke die Zweite Platte des Kondensators bildet. Dieser Kondensator verändert sich in der Kapazität mit den Auslenkungen der Membran, dadurch mit Veränderungen des Druckes, und kann somit zu Erzeugung eines Druckmeßsignals verwendet werden, das mit dem Signal, das von den Piezowiderständen bereitgestellt wird, korreliert werden kann, wodurch ein redundantes selbstkorrelierendes Abfühlsystem bereitgestellt wird. Weiterhin kann, wenn eine Gleichspannung zwischen der Metallplatte der Membran und der Überdruckbegrenzungsbrücke angelegt wird, die Membran in einem ausgewählten Maß ausgelenkt werden. Demgemäß kann ein entsprechendes Anlegen einer Gleichspannung verwendet werden, um die Membran auf eine angestrebte Null-Auslenkungs-Position in Gegenwart eines bestimmten Drucks über der Membran eingestellt werden. Auf diese Weise kann eine automatische Nulleinstellung für Zwecke von Präzisionsanwendungen implementiert werden.

Der Erfindungsgemäße Differentialdrucksensor erlaubt Druckmessungen bis hinunter zu sehr geringen Drücken, während eine hohe Präzision bei diesen niedrigen Druckbereichen erreicht wird. Aufgrund der betroffenen Empfindlichkeit kann der Drucksensor zum Beispiel als ein Mikrofon verwendet werden, daß auf schnell variiierende Druckwellen von niedrigem Level reagiert. Durch Verwendung eines leitfähigen Metalls auf den zueinander gerichteten Flächen von beiden, der Membran und der Überdruckbegrenzung, schließt der Kontakt dieser beiden Oberflächen bei einem Überdruckzustand wirksam einen Schalter, so daß ein Strom zwischen den beiden in Kontakt befindlichen Oberflächen hindurchgeleitet werden kann, wodurch ein

druckempfindlicher Schalter bereitgestellt wird. Mehrere der erfindungsgemäßen Differentialdruckwandler, die zur Messung verschiedener Druckbereiche konstruiert sind, können auf demselben Chip kombiniert werden, wodurch ein Sensor mit automatischer Bereichsanpassung bereitgestellt wird, der mit Elektronik zur Erzeugung eines smarten Sensors kombiniert werden kann.

Weitere Aufgaben, Eigenschaften und Vorteile der Erfindung werden aus der folgenden ausführlichen Beschreibung offensichtlich, wenn diese in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen gesehen werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

In den Zeichnungen ist:

Figur 1 eine schematische perspektivische Ansicht des Erfindungsgemäßen Differentialdruckwandlers auf einem Substrat.

Figur 2 eine vereinfachte Querschnittsansicht durch den Differentialdruckwandler aus Figur 1.

Figur 3 eine vereinfachte Querschnittsansicht einer während der Herstellung des Differentialdruckwandlers aus den Figuren 1 und 2 gebildeten Struktur mit einer auf einem Substrat gebildeten Membran.

Figur 4 ein beispielhaftes Widerstandslayout zum Abführen von Auslenkungen der Membran aus Figur 3.

Figuren 5 bis 10 schematische Querschnittsansichten an einer auf einem Substrat gebildeten Membran, wie in Figur 3, die die nachfolgenden Schritte der Bildung der Überdruckbegrenzungsbrücke zeigen.

Figur 11 eine Draufsicht auf die auf dem Substrat bei dem in Figur 9 dargestellten Schritt gebildete Brücke.

Ausführliche Beschreibung der Erfindung

Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen wird ein erfindungsgemäßer Differentialdruckwandler bei 20 in Figur 1 gezeigt, der auf und mit einem Substrat 21 gebildet ist, das aus einem Halbleitermaterial bestehen kann, bevorzugt einkristallinem Silicium. Das Substrat 21 besitzt eine Oberseite 22 und eine Unterseite 23 und kann in einer umschließenden Struktur (nicht dargestellt) abgedichtet sein, so daß die Umgebungsatmosphäre an der Oberseite 22 des Substrats von der Atmosphäre an der Unterseite 23 des Substrats abgedichtet ist. Das Substrat 21 ist bevorzugt ausreichend dick (die Dimensionen des Substrats relativ zu der Wandlerstruktur über dem Substrat sind in Figur 1 übertrieben klein dargestellt), so daß das Substrat 21 selbst nicht aufgrund von Veränderungen des Drucks über dem Substrat wesentlich ausgelenkt wird.

Die Wandlerstruktur 20 schließt eine deformierbare Membran 25 ein, die auf der Oberseite 22 des Substrats gebildet ist und die mit der Differenz des Drucks zwischen der Oberseite 22 und der Unterseite 23 des Substrates ausgelenkt wird. Eine Überdruckbegrenzungsbrücke 27 ist auf der oberen Seite 22 des Substrates mit Basisabschnitten 28 gebildet, die auf dem Substrat an Positionen auf jeder Seite der Membran 25 und an einem Brückenelement 30, das die obere Seite 31 der Membran überspannt und von dieser beabstandet ist, angebracht ist. Die untere Seite 32 der Brücke 27 ist leicht oberhalb der Membran 25 mit einer ausreichenden Entfernung beabstandet, um der Membran Auslenkungen unter gewöhnlichen Drücken zu erlauben, die aber der Membran nicht erlaubt das Brückenelement zu berühren und von diesem in der weiteren Auslenkung aufgrund von Überdrücken gestoppt wird, die, wenn ihnen nicht entgegengewirkt wird, die Membran zerstören würden.

Ein Querschnitt durch den Differentialdruckwandler ist in Figur 2 dargestellt. Wie darin gezeigt, ist in dem Substrat 21 eine Aussparung 35 unter der Membran gebildet und besitzt einen Boden 36 der nach unten von der unteren Fläche 37 der Membran beabstandet ist. Wieder sind für Zwecke der Darstellung in Figur 2 die relativen Dimensionen der Strukturen stark übertrieben dargestellt, wobei zu verstehen ist, daß die seitlichen Dimensionen der Membran und der Aussparung in Bezug auf den Abstand zwischen der Membran und dem Boden der Aussparung 36 als auch dem Abstand zwischen der Membran und der Unterseite 32 der Brücke wesentlich größer sein würden. Die Unterseite 36 der Aussparung liefert ein Stopelement zum Stoppen von nach unten auf

das Substrat gerichteten Auslenkungen der Membran, genau wie die untere Fläche 32 der Brücke ein Stopelement gegen Auslenkungen nach oben weg von dem Substrat bereitstellt.

Um eine Verbindung zwischen der Aussparung 35 und der Umgebungsatmosphäre an der Unterseite 23 des Substrats bereitzustellen, ist ein Strömungskanal oder eine Mehrzahl von Kanälen 39 sich von der Unterseite 23 zu der Aussparung erstreckend gebildet, bevorzugt zu seitlichen flachen Ausdehnungen 42 der Aussparung, die sich von dem tieferen zentralen Bereich der Aussparung weg erstrecken und durch die Unterseite 36 festgelegt sind. Es ist allgemein bevorzugt, daß sich die Strömungskanäle 39 zu den seitlichen Strömungskanalerweiterungen 42 der Aussparung erstrecken, als zu dem tieferen Bereich der Aussparung selbst. Ein Führen der Strömungskanäle in die Unterseite 36 der Aussparung könnte, unter gewissen Umständen, die Wirksamkeit der Unterseite der Aussparung 36 als eine Druckbegrenzung durch Schwächung der strukturellen Stabilität des Gebiets des Substrates unterhalb der Aussparungsunterseite 36 beeinträchtigen. Alternativ können sich Strömungskanäle seitlich in das Substrat erstrecken, um sich an einer entfernten Position an der Oberseite 22 des Substrates zu öffnen, wo derartige Kanäle mit Leitungen (nicht dargestellt) verbunden sein können, die mit einer von der Umgebungsatmosphäre isolierten Umgebung über der Membran verbunden sind.

Die vorliegende Erfindung ist zur Konstruktion als mikromechanische Vorrichtung angepaßt. In mikromechanischen Vorrichtungen wird der Abstand zwischen der Membran 25 und der

Unterseite 32 der Brücke 30 und zwischen der Membran und der Unterseite 36 der Aussparung, der die maximal erlaubte Auslenkung der Membran ist, allgemein weniger als 10 Mikrometer sein und typischerweise weniger als 1 Mikrometer. Die Dicke der überspannenden Brücke 30 der Überdruckbegrenzungsbrücke 27 wird, verglichen mit dieser Dimension, relativ dick sein. Zum Beispiel wo elektroplattiertes Nickel als Material der Brücke 27 verwendet wird, wird die Dicke des Brückenabschnitts einige hundert Mikrometer betragen, zum Beispiel 300 Mikrometer.

Das Substrat wird wünschenswert aus einem einkristallinen Siliciumwafer des Typs gebildet, der bei der mikroelektronischen Verarbeitung herkömmlich verwendet wird. Die Membran 25 kann durch verschiedene Verarbeitungstechniken gebildet werden. Eine bevorzugte Technik zur Bildung von Polysiliciummembranen ist in den U.S.-Patenten 4,744,863 und 4,853,669 von Guckel, et al., dargelegt und durch Polysilicium-Verarbeitungstechniken im U.S.-Patent 4,879,360, deren Offenbarungen hier durch Bezugnahme eingeschlossen werden. Die Verarbeitungsbedingungen zur Erzeugung der Polysiliciummembran können im wesentlichen wie in den ersten beiden Patenten dargelegt sein, mit der Ausnahme, daß die Aussparung 35 nicht vakuumabgedichtet ist, sondern durch die Kanäle 39 zu der Atmosphäre belüftet. Obwohl die Aussparung 36 als vollständig in dem Substrat 21 gebildet dargestellt ist, könnte die Aussparung über der Fläche 22 des Substrats durch Bildung der Polysiliciummembran auf eine Weise, in der sie sich über das Substrat erstreckt, gebildet sein; in beiden Fällen ist die Membran 31 an der Fläche 22 des Substrats, mit dazwischen

liegendem Material, an den Umfangsbereichen 44 der Membran abgedichtet.

Den Verarbeitungstechniken in den vorstehend Bezug genommenen Patenten folgend wird darauf eine Anfangsstruktur gebildet, die aus dem Substrat 21 mit der Polysiliciummembran 25 darauf, wie in Fig. 3 gezeigt, zusammengesetzt ist. Für Zwecke der Darstellung sind die Kanäle 39 als pyramidale Kanäle in Fig. 3 dargestellt, die Kanäle von dem Typ sind, die durch bevorzugtes Ätzen des einkristallinen Siliciums des Substrats 21, ausgehend von der Unterseite 23 des Substrats gebildet würden. Das Ätzen wird beendet, wenn die Kanäle 39 zu den flachen Ausdehnungsbereichen 42 der Aussparung 35 durchbrechen. Bei Bildung der Polysiliciummembran kann das Gebiet der Aussparung mit einem ätzbaren Material, wie Siliciumdioxid, gefüllt sein, wobei die Polysiliciumschicht dann, wie in den vorstehenden Patenten beschrieben, darauf gebildet wird. Die Umfangsbereiche des Polysiliciums werden auf der Dichtung um die Membran abgeschieden. Die Kanäle 39 können dann geätzt werden, bis die Kanäle das Siliciumdioxid erreichen. Ein Siliciumdioxid-Ätzmittel wird dann zum Ausätzen des Siliciumdioxids zur Bildung der Aussparung angewendet, ohne den Einkristall oder das Polysiliciummaterial zu beeinflussen. Es ist festzustellen, daß die Aussparung 35 typischerweise von quadratischer oder rechteckiger Form ist und die flachen Ausdehnungen 42, die Strömungskanäle bilden, in ihrem äußeren Umfang auch quadratisch oder rechteckig sein können. Das Ätzen durch das Siliciumsubstrat zur Bereitstellung der Öffnungen 39, dargestellt in Figur 3, kann unter Verwendung herkömmlicher Ätztechniken durchgeführt werden,

die wohl bekannt sind, wie zum Beispiel in den U.S.-Patenten 4,203,138 und 4,234,361 gezeigt.

Um ein Abfühlen der Auslenkungen der Membran 25 vorzusehen, können Polysilicium-Piezowiderstände 48 auf der Oberseite der Membran 25 ausgebildet sein, wie in Figur 4 dargestellt. Die Bildung solcher Widerstände ist in den U.S.-Patenten 4,744,863 und 4,853,669 beschrieben. Die vier Widerstände 48 sind bevorzugt miteinander verbunden, um einen einzelnen Widerstand durch verbindende Metallstreifen 50 zu bilden, die an den Anschlußabschnitten 51 enden. Mit Diaphragmagrößen, die typischerweise kleiner Einhundert Mikrometer auf einer Seite sind, werden die Widerstände 48 häufig ziemlich klein sein, mit typischen Linienbreiten von 4 Mikrometern. Um Probleme zu vermeiden, die mit Linienbreitenverschiebungen während des Polysilicium Ätzens auftreten können, können die Widerstände wie in Figur 4 dargestellt miteinander verbunden werden, so daß es einen Widerstand pro Diaphragmamembran gibt. Ein derartiges Layout ist gegenüber Ausrichtungsfehlern angemessen unempfindlich. Ein vollständiger Wandler kann vier Vorrichtungen benutzen und eine Brückenkonfiguration, wobei zwei Widerstände druckempfindlich sind und zwei nicht druckempfindlich.

Von besonderer Bedeutung ist bei der vorliegenden Erfindung die Bildung der Überdruckbegrenzungsbrücke 27, die der vorliegenden Erfindung durch Bereitstellen einer Überdruckbegrenzung für Auslenkungen der Membran weg von dem Substrat ermöglicht als Differentialdruckwandler zu fungieren. Diese Überdruckbegrenzung ist auf eine Weise gebildet, die mit der vorherigen Herstellung

der deformierbaren Membran auf dem Siliciumsubstrat in Einklang steht, als auch mit nachfolgenden Verarbeitungen, die auf dem Substrat zu Bildung anderer mikromechanischer oder mikroelektronischer Vorrichtungen erwünscht sind.

Das Folgende faßt die Bildung der Überdruckbegrenzungsbrücke zusammen. Die Herstellung dieser Brücke wird bevorzugt unter Verwendung von Röntgenstrahliefenlithographie ausgeführt.

Derartige Techniken sind allgemein in den Artikeln von H. Guckel, et al., "Deep X-Ray and UV Lithographies for Mikromechanics," 1990 IEEE Solid State Sensor and Actuator Workshop Digest, Hilton Head, S.C., USA, 4.-7. Juni 1990 und W. Ehrfeld, et al., "LIGA Process: Sensor Construction Techniques via X-Ray Lithography," Technical Digest, IEEE Solid State Sensor and Actuator Workshop, 1988, Seiten 1 bis 4, beschrieben. Der Spalt zwischen der Oberseite der Membran 25 und der Unterseite von dem was die Überdruckbegrenzung werden soll, wird mit einer Opferschicht, die zum Beispiel aus Polysilicium gebildet werden kann, das mit einem Hydrazin-Ätzmittel entferntbar ist, oder einem löslichen Polyimidfilm, der durch ein Lösungsmittel wie Polymethylmetacrylat (PMMA)-Entwickler entfernt werden kann, geschaffen. Die Bildung und Formgebung der Opferschicht wird durch Verwendung von Standarttechniken durchgeführt. Der nächste Schritt ist der des Aufbringens einer Plattierungsbasis. Dies kann ein Titanfilm ohne Muster sein, der von einer Nickelabscheidung gefolgt wird. Das gesamte Substrat wird als nächsts mit einer dicken Schicht, zum Beispiel 100 Mikrometer, einer gießbaren Fotolackgußschicht aus vernetztem PMMA bedeckt. Die Röntgenmaske, die die Gebiete festlegt, die plattiert werden

sollen, wird als nächstes optisch ausgerichtet und in einer Röntgenbelichtungsapparatur festgeklemmt. Die Belichtung mit Röntgenstrahlen, bevorzugt durch Synchrotronstrahlung, wird vom Entwickeln gefolgt, das die Belichtete PMMA-Gußschicht bis auf die Plattierungsbasis entfernt, um einen Formbereich festzulegen. Elektroplattieren des Brückenmaterials, zum Beispiel Nickel, folgt zur Schaffung einer Brücke in dem Formbereich von einer Stärke, die ein wenig kleiner ist als die Stärke des PMMA. Typische Dicken sind 100 Mikrometer und größer. Das gesamte verbleibende PMMA wird dann entfernt. Die Plattierungsbasis wird als nächstes entfernt und die Opferschicht wird als letzter Schritt entfernt.

Das folgende ist eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens der Brückenbildung unter Bezugnahme auf die erläuternden Darstellungen der Figuren 5 bis 10.

Schritte 1 und 2, Figur 5:

Aufbringen der Freisetzungsschicht:

Aufrotieren des APX-K1 Haftpromotors (von Brewer Science, Inc., Rolla, MO) bei 3000 U/Min für 30 Sekunden und Ausheizen auf einer Wärmeplatte bei 130° Celsius für 30 Sekunden, dann

Aufrotieren der PiRL (I) (Poliiimid-Freisetzungsschicht formuliert für 0,8 μ bei 3500 Umdrehungen pro Minute von Brewer Science, Inc. Rolla, MO) bei 3500 Umdrehungen pro Minute für 60 Sekunden und Ausheizen auf einer Wärmeplatte bei 100±1°C für 2 Minuten und

unmittelbar danach auf einer zweiten Wärmeplatte bei $210 \pm 1^\circ\text{C}$ für 1 Minute. Die zweite Ausheiztemperatur ist kritisch, da sie die Ätzrate während der Bemusterung und die Ätzrate während dem letztendlichen Entfernen der gemusterten Opferschicht bestimmt.

Muster-Opferschicht 53:

Aufrotieren von Shipley 1400-27 positivem Fotolack 54 bei 5000 U/min für 30 Sekunden, Vorheizen in einem Ofen bei 90° Celsius für 30 Minuten,

Belichten des Fotolacks mit dem Überdruck-Begrenzungsmuster mit der optischen Maske 55,

Entwickeln des Musters im Fotolack und nachfolgend in PiRL unter Verwendung von zwei Bädern von Shipley MF-321 Positiv-Fotolack-Entwickler: Entwickeln in einem ersten Bad für 60 Sekunden zur Entwicklung des Fotolacks und zusätzliche 3 bis 4 Minuten in einem zweiten Bad zur Entfernung der geöffneten Bereiche von PiRL. Dies wird von einem 10 minütigen Spülen mit (deionisierten) Wasser gefolgt.

Schritte 3 und 4, Figur 6:

Herstellung der Substratwafer 21 zur Abscheidung der Plattierungsbasis:

durchführen einer O_2 -Plasmareinigung für 4 Minuten. Die folgenden Parameter betreffen einen Plasmatherm PK 1241 RIE/Plasmaätzer:

25 sccm O₂, p_{min} = 10 mT (Millitorr), p_{Betrieb} = 30 mT, 100 W

Entfernen des Fotolacks durch 3 minütiges Eintauchen der Wafer in Aceton von VLSI-Qualität, gefolgt von einem 10 minütigen spülen mit deionisiertem Wasser,

durchführen einer zweiten O₂-Plasmareinigung mit obigen Parametern für 1 Minute,

Behandlung der Wafer mit 50:1 HF (Fluorwasserstoffsäure) durch Eintauchen für 30 Sekunden, 5 minütiges spülen mit deionisierten Wasser und direktes Beschicken des Vakuumsystems zum Sputtern.

Sputtern der Plattierungsbasis 50:

eine Ti/Ni-Plattierungsbasis wird verwendet: 150 Å Ti wird gefolgt von 300 Å Ni.

Schritte 5, 6 und 7, Figur 7:

Herstellen von Wafern zum PMMA-Gießen:

Unmittelbar nach dem Entladen der Substrate aus dem Vakuumsystem wird ein Haftpromotor und eine Schicht eines linearen Polymers auf die Plattierungsbasis aufrotiert:

Der Haftpromotor wird für jeden Durchgang 4,5 Stunden vor der Anwendung hergestellt und besteht aus dem folgenden:

95±1 ml MeOH (Methylalkohol)

5,0±0,1 ml H₂O

0,10±0,01 ml TMPMA (3-Trimethoxysilyl)propyl-methacrylat, Aldrich # 23, 579-2),

Übergießen des Wafers mit Haftpromoter und rotieren bei 2000 U/min für 40 Sekunden,

gefolgt von Aufrotieren von KTI 9 %, 496K PMMA bei 8000 U/min für 60 Sekunden,

Glühen in einem programmbaren Ofen unter 2,0 l/min (Liter pro Minute) N₂ unter Verwendung des folgenden Kreislaufs.

1°C/min Anstieg bis 180°Celsius,

Halten für 1 Stunde bei 180° Celsius,

-1°C/min Abfall bis Raumtemperatur.

Gießen von PMMA 57:

Das Gießen wird unter Verwendung von zwei vorgemischten Lösungen durchgeführt:

Lösung I:

35 Gew.-% PMMA - mittleres Molekulargewicht - Aldrich # 18, 224-9

61 Gew.-% MMA (Methylmethacrylat) - Aldrich # M 5, 590-9

2 Gew.-% EGDA - Ethylen glykol Dimethacrylat - Aldrich # 33, 568-1

2 Gew.-% DMA - N,N-Dimethylanilin - Aldrich # D 14, 575-0

Lösung II:

35 Gew.-% PMMA

62 Gew.-% MMA

2 Gew.-% EGDA

1 Gew.-% BPO - Benzoylperoxid Aldrich # 17, 998-1

Der Inhibitor in dem MMA wird mit einer entsorgbaren Inhibitor-Entfernungssäule (Aldrich # 30, 631-2) entfernt. Die 35 Gew.-% PMMA müssen zuerst in dem MMA (ungefähr 1 Woche) gelöst werden.

Die Lösungen I und II werden zur Bildung eines "Sirups" ganz kurz vor dem Gießen unter Verwendung eines Vakuummixers gemischt. Der PMMA Sirup wird dann auf den Wafer aufgebracht, der dann in eine Gußvorrichtung zum Pressen des PMMA auf die gewünschte Stärke gegeben wird. Die Proben bleiben 48 Stunden geklammert und werden dann in einem programmierbaren Ofen unter 2 l/min N₂ wie folgt geglüht:

20°C/Stunde Anstieg auf 110°Celsius,
einstündiges Halten bei 110°Celsius,
-5°C/Stunde Abfall auf Raumtemperatur.

Ausrichten der Röntgenmaske 58 und Belichten mit Synchrotronstrahlung:

Die Substrate werden zu den entsprechenden Röntgenmasken 58 mit einem Muster zur Festlegung von PMMA/Nickel unter Verwendung eines doppelseitigen Karl-Süss-Ausrichters ausgerichtet. Eine Siliciumnitrid-Röntgenmaske, deren Plattierungsbasis nach der Goldplattierung entfernt wurde wird so wie sie ist, optisch transparent, verwendet und das Substrat kann leicht durch die SiN-Membranbereiche angeschaut werden. Ist die Röntgenmaske 58 einmal auf der Opferschicht auf dem Substrat ausgerichtet, werden diese in der Ausrichtungsvorrichtung zusammengeklammert und zur Belichtung zum Synchrotron gegeben.

Synchrotron-Belichtungsbedingungen (UW-Madison Aladin Synchrotron) sind:

bei 1 GeV, 20 Torr He, 275 μm Be Filter belichten mit einer Dosis von 3,5 kJ/cm^2 am Boden des PMMA.

Schritte 8, 9 und 10, Figur 8:

Entwickeln des PMMA 57:

Die Entwicklungssequenz schließt ein Entwicklerbad und zwei Spülbäder ein und besteht aus:

Entwickler:

60 Vol.% 2-(2-Butoxethoxy)ethanol
20 Vol.% Tetrahydro-1-4oxazin (Morpholin)
5 % 2-Aminoethanol (Ethanolamin)
15 % Deionisiertes Wasser

Erste Spülung:

80 % 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol
20 % Wasser

Zweite Spülung:

100 % Wasser.

Die Entwicklungssequenz für 100 Mikrometer PMMA, belichtet wie in Schritt 7, ist:

- a) Entwickeln in einem Entwicklerbad bei $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ für 25 Minuten unter Bewegung,
- b) Spülen in einem ersten Spülbad bei $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ für 20 Minuten unter Bewegung,
- c) Spülen in einem zweiten Spülbad bei $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ für 5 Minuten unter Bewegung.

Vorbereiten der Substrate für das Nickel-Elektroktroplattieren
59:

Die Substrate müssen gründlich mit Stickstoff getrocknet und dann mit einem Sauerstoffplasma unter den folgenden Bedingungen gereinigt werden:

O_2 = 25 sccm, p_{min} = 10 mT, $p_{Betrieb}$ = 30 mT, 50 W Plasma, Ätzen in einem Zyklus von 15 Sekunden an/45 Sekunden aus für eine Gesamteinschaltzeit von 90 Sekunden,

einer dem Nickel-Plattieren vorausgehenden HCl-Behandlung: 5 Vol.% für 15 Minuten.

Nickel-Elektroplattieren 59:

Das Elektroplattieren findet in einem Nickelsulfamatbad bei 52°C unter den folgenden Bedingungen statt:

Nickelplattieren bei 20 mA/cm^2 für die ersten 5 Mikrometer, dann Ansteigen auf 50 mA/cm^2 für den Rest der Abscheidung,

10-minütiges Spülen mit deionisiertem Wasser,

Schritte 11 und 12, Figur 9:

Entfernen des PMMA-Felds 57:

Abdeckende Synchroton Belichtung unter Verwendung derselben Bedingung wie in Schritt 7,

Entwickeln des PMMA unter Verwendung desselben Zyklus wie in Schritt 8.

Entfernen der Plattierungsbasis 56:

Die Plattierungsbasis 56 muß in den nicht platierten Bereichen entfernt werden, um einen Zugang zu der Opferschicht zu ermöglichen.

Die folgenden Schritte werden verwendet:

40-minütiges Ätzen des Nickels in 5 Vol.% HCl,
5-minütiges Ätzen des Titans in 200:1 HF.

Schritt 13, Figur 10:

Ätzen der Opferschicht 53:

Die PiRL-Opferschicht 53 kann unter Verwendung einer alkalischen Lösung, zum Beispiel eines Positiv-Fotolack-Entwicklers, entfernt werden. Es ist herausgefunden worden, daß Ammoniumhydroxid gut mit einer seitlichen Ätzrate von ungefähr 10 Mikrometer/Stunde bei Raumtemperatur arbeitet.

Figur 11 zeigt eine Draufsicht der Struktur wie in Figur 9, bevor die Opferschicht 53 entfernt wird. Wie in Figur 11 dargestellt, erstreckt sich die Opferschicht 53 von den beiden offenen Enden der Brücke 27 zwischen den Basisbereichen 28 der Brücke nach außen.

Weil die Polysiliciumwiderstände 48 bevorzugt mit einer Schicht Siliciumnitrid bedeckt sind, das als Isolator und Oberflächenpassivierungsgrenze fungiert, kann eine dünne Schicht eines Metalls (zum Beispiel eine Schicht 60 aus Aluminium, wie in den Figuren 1 und 2 dargestellt) auf der Oberseite 31 der Membran gebildet werden, ohne die Leistung sowohl der Membran oder der Widerstände herabzusetzen. Eine Leitung 61 kann aus der leitenden Schicht 60 zu einer Position auf dem Substrat weg von dem Sensor gebildet werden, um eine externe elektrische Verbindung zu der leitenden Schicht 60 zu ermöglichen. Die Schicht 60 bildet eine Platte eines Kondensators, wobei die andere Platte durch die metallene Überdruckbegrenzungsbrücke 27 gebildet ist. Dieser Kondensator wird seine Kapazität ändern, wenn die Membran 25 in Richtung auf und weg von der Brücke ausgelenkt wird. Die Druckveränderung, wie durch die Veränderung der Kapazität gemessen, sollte mit der von den Piezowiderständen gemessenen Druckveränderung übereinstimmen. Durch Vorsehen einer elektrischen Schaltung, die die von den zwei verschiedenen Typen von Abfühlvorrichtungen erhaltenen Messungen vergleicht, ist es möglich zu bestätigen, daß genaue Meßergebnisse des Drucks erhalten werden und das weder das kapazitive Abfühlen noch das piezoresistive Abfühlen fehlerhaft war.

Weiterhin kann, wenn eine Gleichspannung zwischen der durch die Schicht 60 festgelegte Platte und der Brücke 27 angelegt wird, die Membran 25 mittels der auf die Membran ausgeübten elektrostatischen Kraft ausgelenkt werden. Außerdem kann durch Isolieren der Brücke 60 und der Membran 25 von dem Substrat 21

und durch dotieren des Substrats unter dem Aussparungsboden 36, so daß es leitfähig ist, ein Kondensator zwischen dem leitfähigen Substrat unter dem Boden der Aussparung und der Metallplatte 60 gebildet werden. Eine an diesen Kondensator angelegte Gleichspannung zieht die Membran in Richtung auf den Boden der Aussparung. Durch Anlegen geeigneter Gleichspannungen zwischen der Brücke und der Metallschicht 60 oder zwischen dem Substrat unter dem Aussparungsboden 36 und der Metallschicht 60, oder beidem, kann die Membran 60 in Gegenwart eines ausgewählten Differentialdrucks über der Membran auf eine gewünschte Null Auslenkungsposition eingestellt werden. Auf diese Weise kann ein automatisches Nullen implementiert werden, wo präzise Messungen niederer Drücke erforderlich sind.

Wegen der hohen Empfindlichkeit und Fähigkeit relativ niedrige Differentialdruckveränderungen abzufühlen, kann der Druckwandler der vorliegenden Erfindung als Mikrofon dienen. Bei einer derartigen Anwendung ist die Brücke 27 bevorzugt mit einer Reihe von Löchern 65 perforiert, teilweise in Figur 1 dargestellt, wobei die Löcher dazu dienen den Schalldruck auf die Membran zu übertragen und auch als ein wirksamer akustischer Filter zu dienen, um eine gewünschte Frequenzreaktion vorzusehen. Weil der erfindungsgemäße Druckwandler auf einem Silicium- oder Halbleitersubstrat gebildet ist, auf dem auch mikroelektronische Vorrichtungen gebildet werden können, können geeignete Elektronikvorrichtungen, wie Eingangsverstärker, direkt auf dem Substrat in Nachbarschaft zu dem Druckwandler-Mikrofon gebildet werden, wodurch elektrisches Rauschen minimiert wird, das durch

lange Anschlußleitungen vom Mikrofon zu den Verstärkern eingebracht werden kann.

Zur Messung eines breiten Bereichs von Drücken, können Erfindungsgemäß mehrere Druckwandler auf demselben Chip gebildet werden, wobei jeder Druckwandler so ausgewählt ist, daß er einen verschiedenen Druckbereich besitzt, auf den er am besten reagiert. Geeignete elektronische Vorrichtungen können auf demselben Chip wie der, auf dem die Wandler gebildet sind, integriert sein, so daß das zugeführte Drucksignal von dem richtigen Wandler automatisch durch den Wandlermeßschaltkreis ausgewählt wird.

Es ist zu verstehen, daß die Erfindung nicht auf die besondere Konstruktion und Ausführungsformen, die hier beschrieben wurden beschränkt ist, sondern derartig modifizierte Formen derselben umfaßt, die in den Rahmen der folgenden Patentansprüche fallen.

10

Patentansprüche

15 1. Verfahren zur Herstellung einer mikromaschinellen Struktur,
gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

20 (a) Bildung einer Material-Opfer-Freisetzungsschicht (53) auf der Oberfläche (22) eines Substrates (21), wobei das Material der Opfer-Freisetzungsschicht (53) in einer Flüssigkeit löslich ist, die das Substrat (21) nicht beeinflusst;

25 (b) Aufbringen einer Beschichtungsbasis (56) wenigstens über der Opfer-Freisetzungsschicht, wobei bei die Beschichtungsbasis aus einem Metall gebildet wird;

30 (c) Ausbilden einer Schicht aus Formgussmasse (57) über der Beschichtungsbasis in wenigstens der gewünschten Dicke einer zu bildenden Struktur, wobei die abgeschiedene Formgussmasse (57) für Röntgenstrahlen durchlässig ist, so dass die Röntgenstrahlen ausgesetzte Formgussmasse (57) in

35

einer ausgewählten Entwicklerlösung aufgelöst werden kann;

5 (d) Aussetzen der Formgussmasse (57) gegenüber Röntgenstrahlen in einem gewünschten Muster (58), einschließlich wenigstens einem Teil des Bereichs der Beschichtungsbasis (56);

10 (e) Entfernen des Formgussmaterials (57) mit der Entwicklerlösung in den Röntgenstrahlen ausgesetzten Bereichen, während das verbleibende Formgussmaterial (57) zur Festlegung eines Formbereichs über der Beschichtungsbasis (56) stehengelassen wird;

15 (f) Abscheiden eines massiven Metalls (59) in dem Formbereich über der Beschichtungsbasis (56) durch Elektroplattieren;

20 (g) Entfernen des verbleibenden Formgußmaterials (57);

25 (h) Entfernen der Beschichtungsbasis (56) in Bereichen, in denen kein massives Metall (59) abgeschieden wurde, um einen Zugang zu der Opfer-Freisetzungsschicht (53) zu ermöglichen;

30 (i) Entfernen der Opfer-Freisetzungsschicht (53), um das abgeschiedene Metall (59) auf der Beschichtungsbasis (56) an den Stellen frei von dem Substrat (21) zu lassen, wo die Opfer-Freisetzungsschicht (53) entfernt wurde.

2. Verfahren gemäss Anspruch 1,
bei dem die Beschichtungsbasis (56) wenigstens über
einen Bereich des Substrats (21), als auch über der
5 Opferfreisetzungsschicht (53) aufgebracht ist, so
dass, wenn die Opfer-Freisetzungsschicht (53)
entfernt wird, ein Bereich des abgeschiedenen Metalls
(59) auf der mit dem Substrat (21) verbundenen
Beschichtungsbasis (56) verbleibt.

10 3. Verfahren gemäss Anspruch 1 oder 2,
die zusätzlichen Schritte umfassend:

15 Ausbildung einer deformierbaren Polysilikon-Membran
(25) über einer Aussparung (35) zwischen der Membran
(25) und dem Substrat (21), wobei die Membran (25) an
Umfangsbereichen derselben mit der Oberseite des
Substrats (21) zum dichten Abschluß der oberen
20 Oberfläche der Membran (25) von der Aussparung (35)
verbunden ist;

25 Ausbildung von wenigstens einem Kanal (39) in dem
Substrat (21) oder der Membran, der sich von einer
der Aussparung (35) entfernten Position bis in eine
Verbindung mit der Aussparung (35) erstreckt;

30 Ausbildung einer Opfer-Freisetzungsschicht (53) über
der Membran (25) und angrenzend an die Oberfläche der
Membran (25), wobei das Material der
Freisetzungsschicht in einer Flüssigkeit löslich ist,
die die Membran (25) oder das Substrat (21) nicht
beeinflusst;

Aufbringen der Beschichtungsbasis (56) über der Freisetzungsschicht (53) und dem angrenzenden Substrat (21);

5 Ausbilden der Schicht eines Formgussmaterials (57) in einer gewünschten Dicke einer Überdruck-Begrenzungsbrücke;

10 Ausführen des Schritts des Aussetzens des Formgussmaterials (57) gegenüber Röntgenstrahlen in einem gewünschten Muster, welches den Bereich der deformierbaren Membran (25) umgibt und einschliesst;

15 und wobei das Material der Opfer-Freisetzungsschicht, beim Schritt des Entfernen der Opfer-Freisetzungsschicht, entfernt wird, um das abgeschiedene Metall (59) als eine sich über den Raum der deformierbaren Membran (25) erstreckende Brücke stehenzulassen.

20 4. Verfahren gemäss Anspruch 3, bei dem der Schritt der Ausbildung von wenigstens einem Kanal (39) durch Ätzen eines Kanals in das Substrat (21) von der Rückseite des Substrats bis in Verbindung mit der Aussparung (35) ausgeführt wird.

25 5. Verfahren gemäss Anspruch 3 oder 4, bei dem der Schritt des Abscheidens eines massiven Materials (59) ein Elektroplattieren eines Metalls in den Formbereich einschliesst.

30 6. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Opfer-Freisetzungsschicht (53) aus Polyamid gebildet ist.

7. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6,
bei dem die Beschichtungsbasis (56) eine dünne
Titanschicht und eine dünne Nickelschicht
einschliesst.
8. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 7,
bei dem das Formgussmaterial (57)
Polymethylmethacrylat ist, bevorzugt vernetztes
Polymethylmethacrylat.
9. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8,
bei dem das Metall, das beschichtet wird, Nickel ist.
10. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 9,
bei dem Freisetzungsschicht (53) in einer Dicke von
10 µm oder weniger abgeschieden wird.
11. Verfahren gemäss Anspruch 10,
bei dem die Freisetzungsschicht (53) in einer Dicke
von ungefähr 1 µm abgeschieden wird.
12. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 11,
bei dem der Schritt des Aussetzens des
Formgussmaterials (57) gegenüber Röntgenstrahlen
durch Aussetzen des Formgussmaterials (57) gegenüber
Synchrotronstrahlung ausgeführt wird.
13. Mikromaschineller Differentialdruckwandler
enthaltend:
 - (a) ein Substrat (21) mit einer Oberseite (22) und
einer Unterseite (23);

5 (b) eine deformierbare Membran (25), die auf der Oberseite (22) des Substrats (21) angebracht und an ihren Umfangsbereichen dicht mit der Oberseite (21) des Substrats verbunden ist und zur Festlegung einer Aussparung (35) in ihrem Innenbereich von dem Substrat (21) beabstandet ist, wobei die Aussparung (35) zwischen der Membran (25) und dem Substrat (21) hermetisch abgeschlossen ist, der Boden der Aussparung (35) in dem Substrat (21) zur Ermöglichung normaler Auslenkungen der Membran (25) von derselben beabstandet ist, aber eine Überdruckbegrenzung für die Auslenkung der Membran (25) in Richtung auf das Substrat (21) darstellt, um eine Beschädigung der Membran (25) zu vermeiden;

10 (c) wenigstens einen, von einer entfernten Position in dem Substrat (21) zu der Aussparung (35) führenden Kanal (39) zur Bereitstellung einer Verbindung davon zur Aussparung;

15 (d) einer auf der Oberseite des Substrats (21) angebrachten Überdruckbegrenzung (30) mit einem Brückenbereich (30), der die Membran (25) überspannt und zur Ermöglichung normaler Auslenkungen der Membran (25) davon beabstandet ist, während er eine Überdruckbegrenzung zur Vermeidung von Auslenkungen der Membran (25) in Richtung von dem Substrat (21) weg darstellt, die die Membran (25) beschädigen würde, wobei der Abstand zwischen der Überdruckbegrenzungsbrücke (30) und der Membran (25) und zwischen der Membran (25) und dem Boden der Aussparung (35) weniger als ungefähr 10 μm ist; und

20

25

30

(e) Einrichtungen (48) zum Abfühlen der Auslenkungen der Membran;

5

dadurch gekennzeichnet,
dass die Überdruckbegrenzungsbrücke (30) aus einem leitenden Metall gebildet ist.

10

14. Wandler gemäss Anspruch 13,
bei dem das Substrat (21) aus einkristallinem Silicium gebildet ist.

15

15. Wandler gemäss Anspruch 13 oder 14,
bei dem die Membran (25) aus polykristallinem Silicium gebildet ist.

25

17. Wandler gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, enthaltend eine Schicht eines leitenden Metalls (60) auf der oberen Oberfläche der Membran (25), die auf die Überdruckbegrenzungsbrücke (30) gerichtet ist, so dass die Metallschicht auf der Membran (25) und die Brücke (30) zwei Platten eines Kondensators zur Bereitstellung der Einrichtung zum Abfühlen der Auslenkungen der Membran (25) durch Änderung der Kapazität eines derartigen Kondensators bildet.

30

18. Wandler gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem Aussparung (35) als eine Einkerbung in das Substrat (21) ausgebildet ist.

19. Wandler gemäss Anspruch 18,
bei dem die Einkerbung einen tiefen Zentralbereich
und flache Randbereiche (42) besitzt und bei dem der
Kanal (39) in dem Substrat (21) mit den flacheren
äußereren Bereichen (42) der Aussparung (35) in
Verbindung steht.
20. Wandler gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem die Kanäle (39) sich von der Unterseite (23)
des Substrats (21) durch das Substrat bis in
Verbindung mit der Aussparung (35) erstreckend
gebildet sind.
21. Wandler gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche,
enthaltend auf der Membran (25) gebildete
piezoresistive Widerstände (48) zur Bereitstellung
von Einrichtungen zum Abfühlen der Auslenkungen der
Membran (25) durch Veränderungen des Widerstands
eines derartigen Widerstands.
22. Wandler gemäss Anspruch 21, wenn abhängig von
Anspruch 17,
bei dem die Messungen der Auslenkungen der Membran
(25) durch die Veränderung in der Kapazität und die
Veränderung des Widerstands des Piezowiderstands
miteinander korreliert werden können.
23. Wandler gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem die Membran (25) eine Dicke im Bereich von
10 µm oder weniger hat.
24. Wandler gemäss Anspruch 23,
bei dem die Membran (25) eine Dicke von ungefähr
1 µm hat.

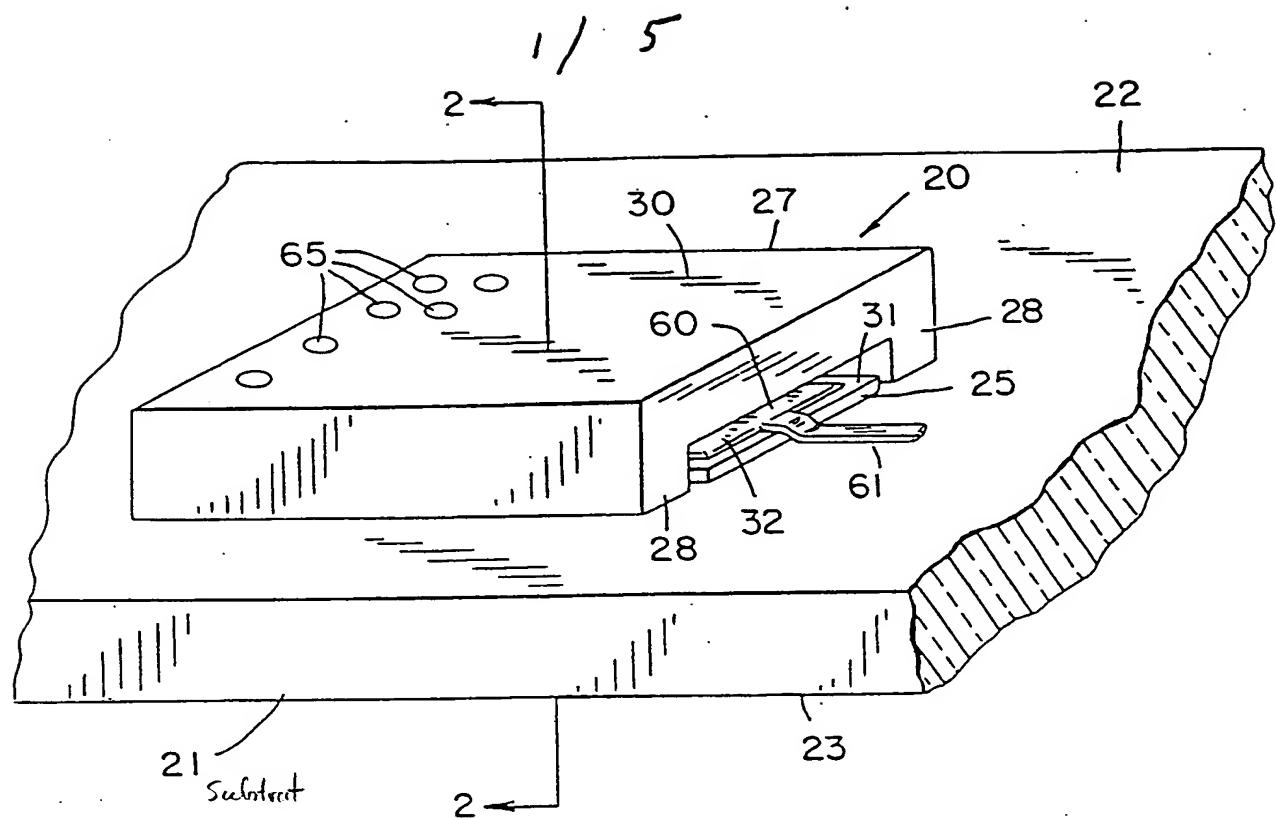


FIG. I.

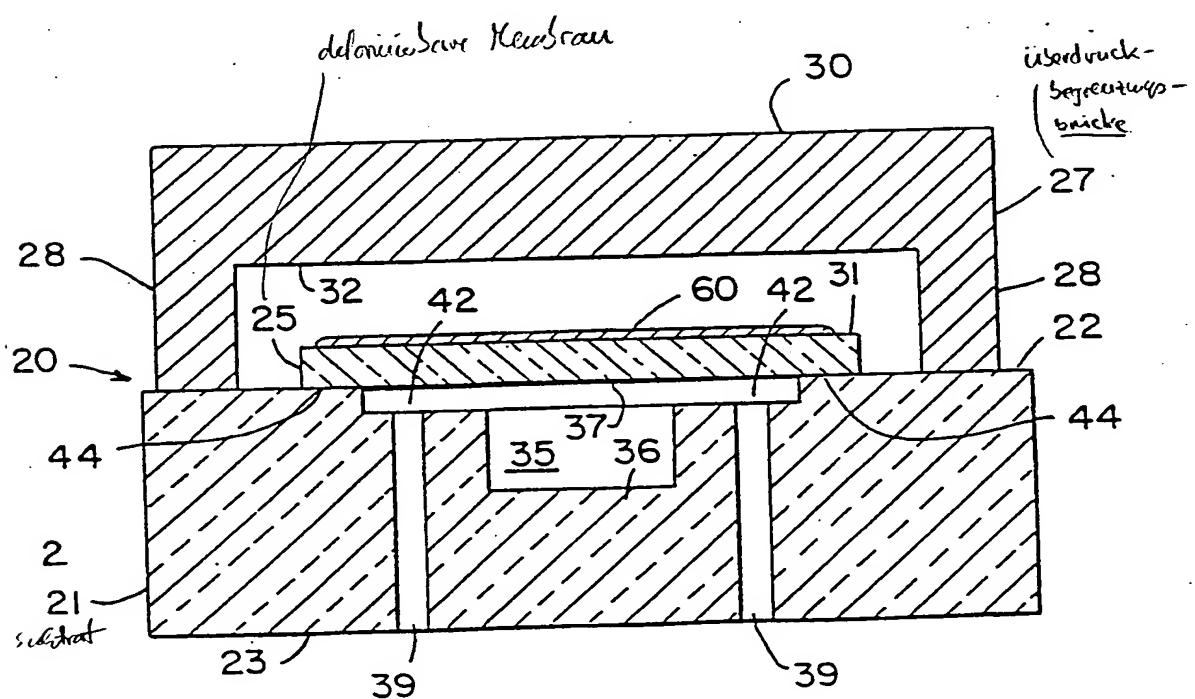


FIG. 2

2 / 5

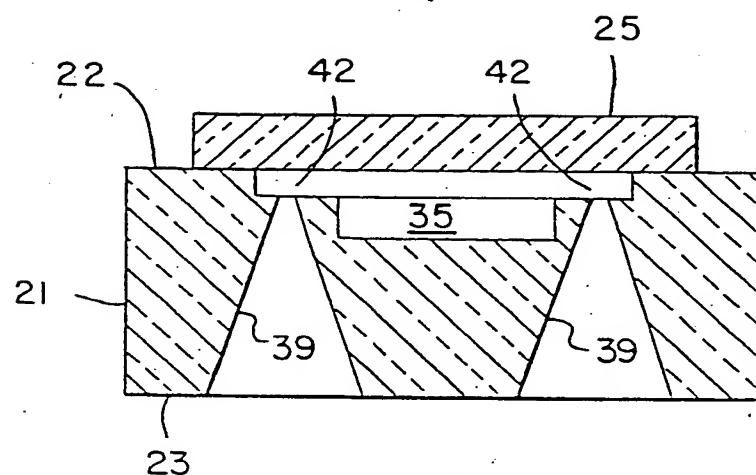


FIG. 3

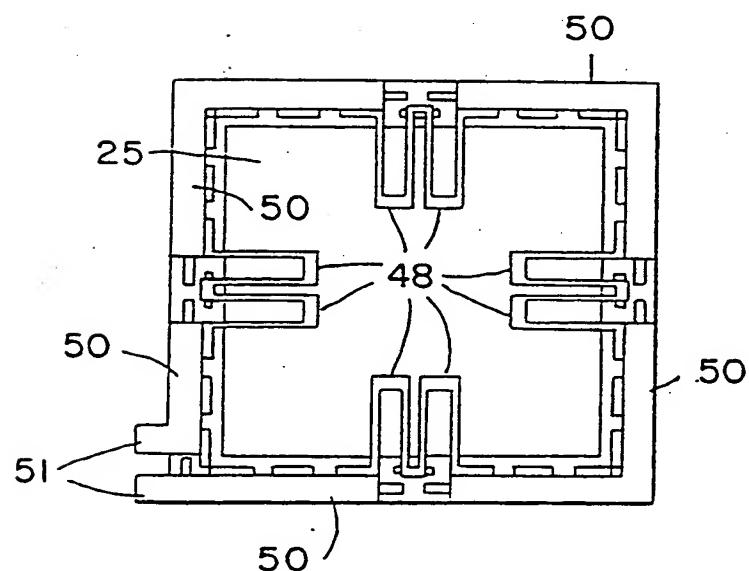
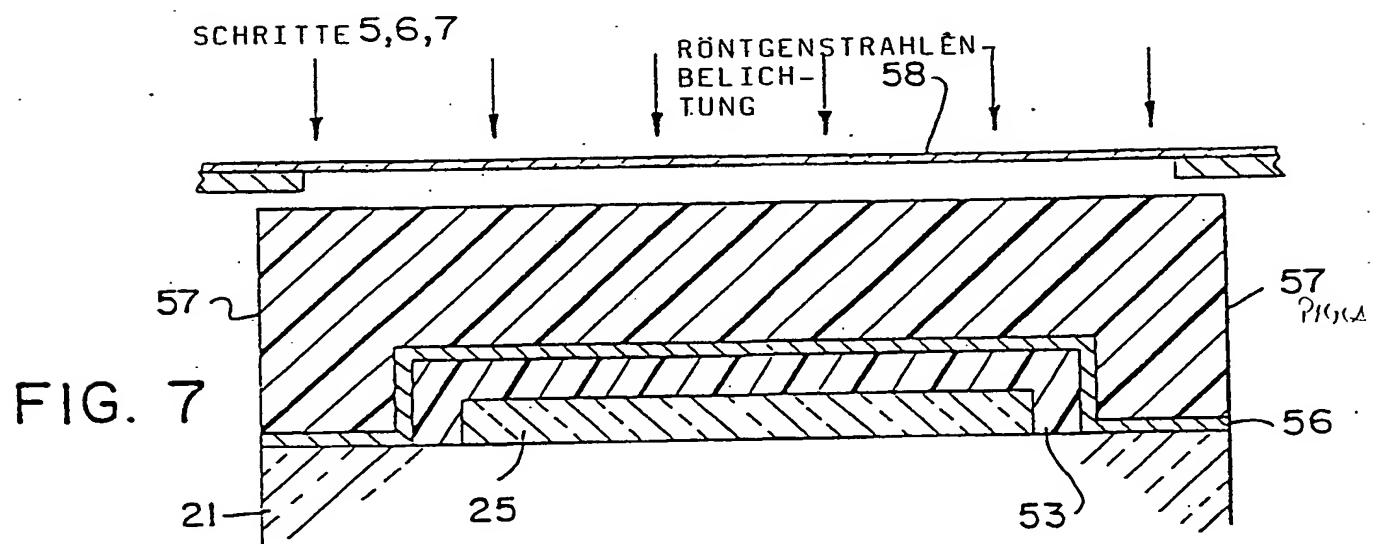
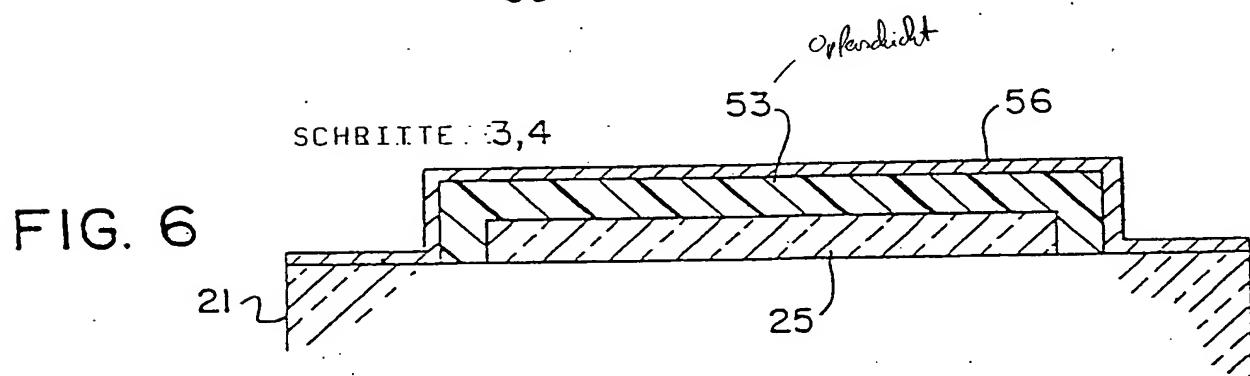
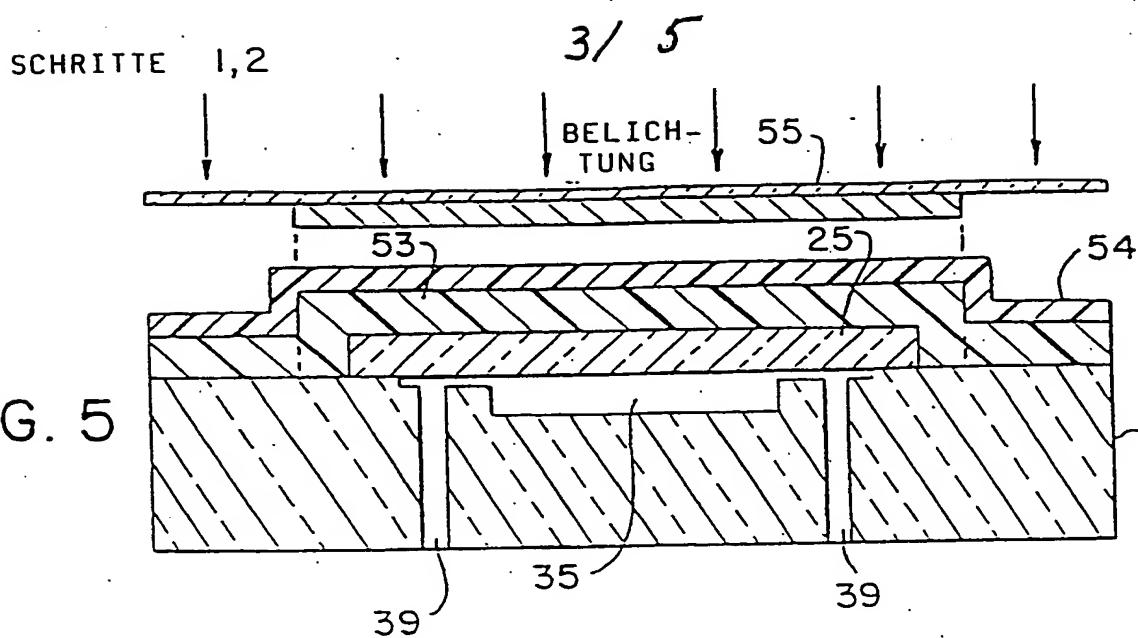


FIG. 4



41 5

SCHRITTE 8,9,10

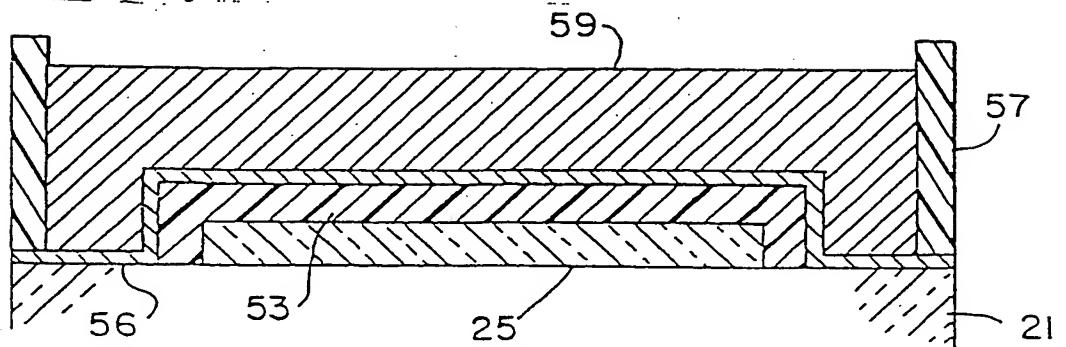


FIG. 8

SCHRITTE 11,12

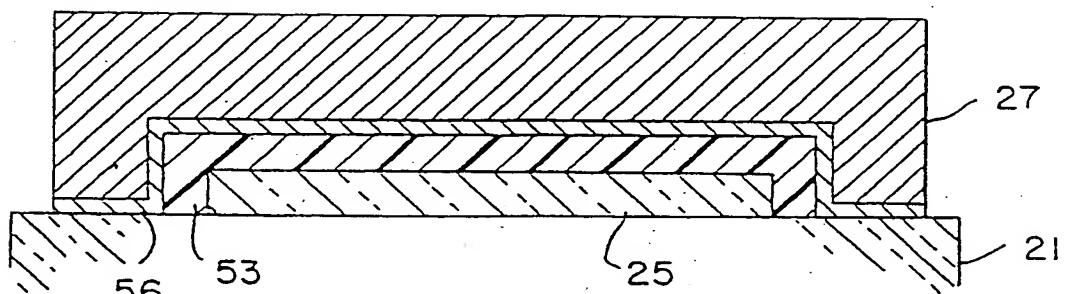


FIG. 9

SCHRITTE 13

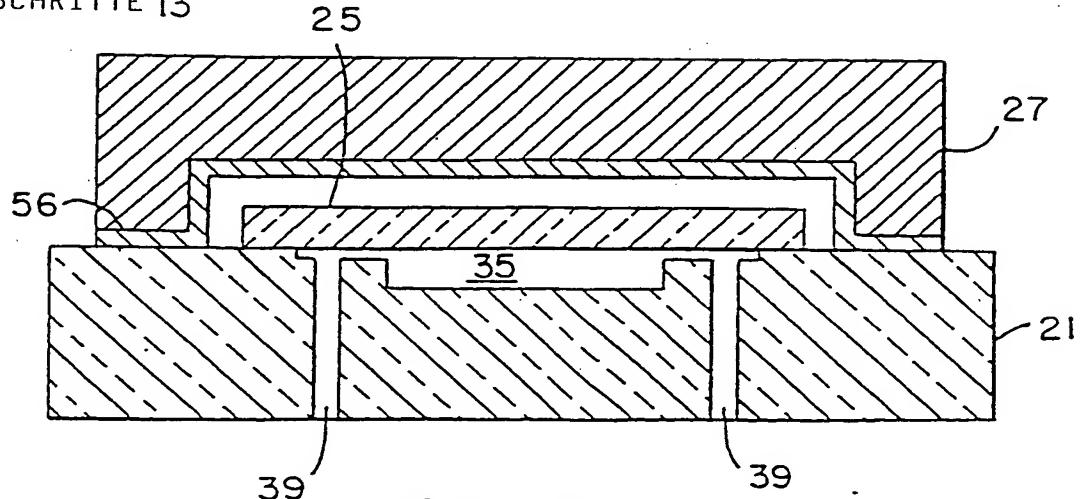


FIG. 10

5/5

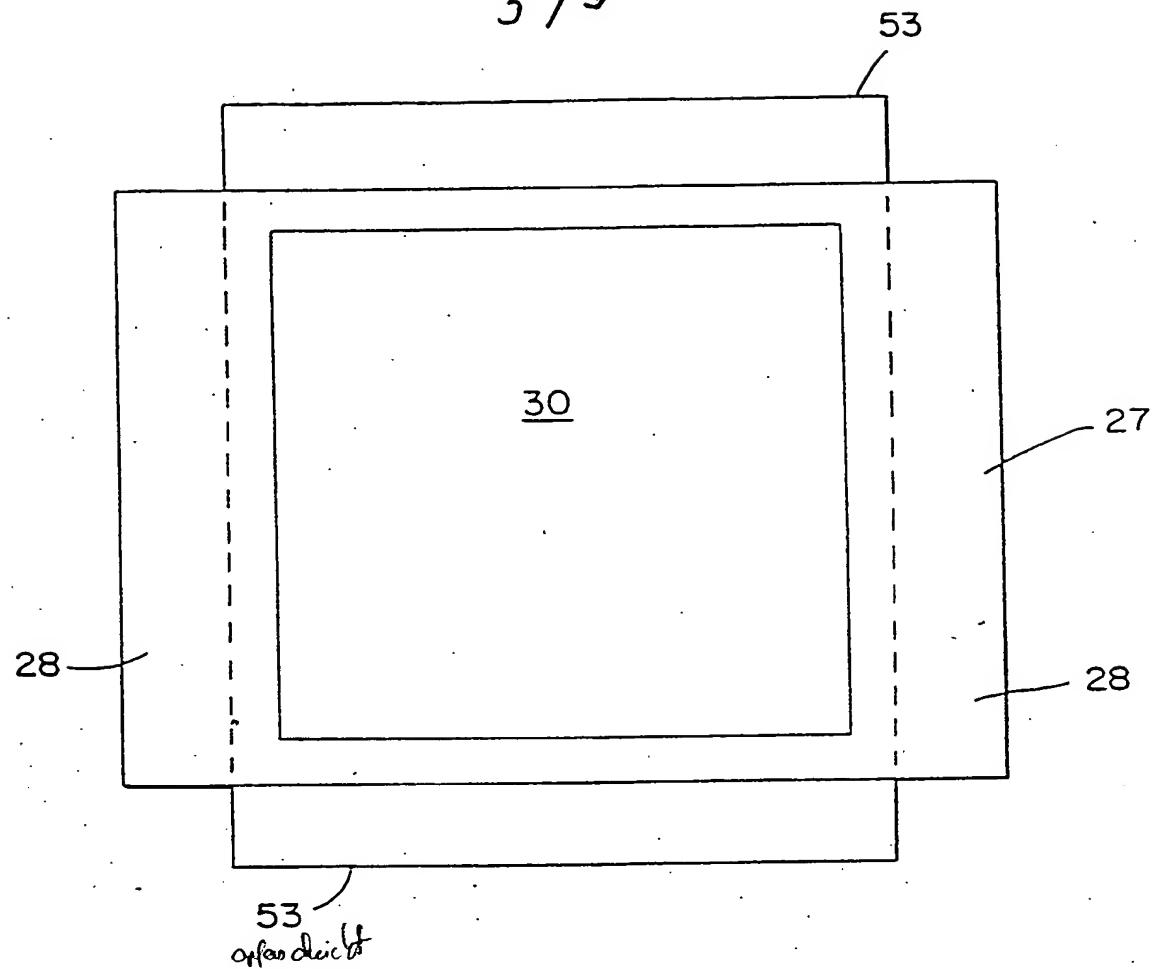


FIG. II

THIS PAGE BLANK (USPTO)